

GEOLOGIA: ¿PROTOCIENCIA, ESPECULACION O CIENCIA?

A. C. RICCARDI

Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata.

Resumen

No existen evidencias como para sostener que la metodología de la Geología sea fundamentalmente diferente de la del resto de las disciplinas científicas. Las diferencias existentes sólo lo son de grado, y niegan el supuesto carácter paradigmático de la Física dentro de la Ciencia, de manera tal que se hace necesario definir la metodología en forma más amplia y pragmática sin entrar a detallar métodos, secuencias o procesos lógicos ideales. La Geología, como la Física y la Química, no es solamente una disciplina observacional y descriptiva, sino que al igual que aquellas también es teórica y experimental. Teóricamente al geólogo le es igualmente posible explicar y predecir. Prácticamente puede hacer lo primero con mayor exactitud, e intenta mejorar lo segundo. La inducción y la analogía no le garantizan a la Geología, ni a las demás ramas de la ciencia, la obtención de hipótesis, leyes y teorías. En la metodología de la Geología, como en la de todas las demás disciplinas, es de fundamental importancia la lógica que rodea la aceptación de las hipótesis: entre varias se acepta provisionalmente la que haya pasado las contrastaciones más rigurosas, y se la elimina o reemplaza cuando se la puede sustituir por otra más contrastable. La comunidad geológica, como todas las comunidades científicas, no actúa según pautas o métodos definidos; sus actitudes y reacciones no sólo son definidas por factores internos sino por las influencias filosóficas, históricas, políticas y económicas de la sociedad humana en general.

El objetivo de la Geología, al igual que el de todas las demás disciplinas científicas, es fundamentalmente cognoscitivo. Consecuencia inmediata de este objetivo es que, bien empleado por técnicos y políticos, puede ayudar al hombre en el control y aprovechamiento del medio ambiente. La Geología no sólo comprende una parte histórica que trata de construir una crónica de configuraciones únicas, sino que además, y para poder llevar esto a cabo, posee una teoría en la cual juegan un papel primordial tipos que sí son reproducibles en el espacio y el tiempo. Por ello las explicaciones geológicas también hacen uso de hipótesis, leyes y teorías. Es un error sin embargo, creer no sólo que la meta de la Geología y de la ciencia en general es lograr enunciados de leyes similares a los que son comunes en la Física, sino también sostener que la Geología no intenta obtener leyes objetivas universales. El grado de universalidad de los enunciados legaliformes está en relación inversa con la complejidad de los hechos que ellos pretenden sistematizar. La Geología, que se ocupa de hechos más complejos

Abstract

There is no evidence to regard the methodology of geology as fundamentally different from that of other scientific disciplines. The existing differences are only of degree and, therefore, do not support the assumed paradigmatic character of physics within science. Consequently it is necessary to define the methodology of science in a more pragmatic way. Geology, like physics and chemistry, is not only observational and descriptive, but also theoretical and experimental. From a logical point of view, geologists can explain and predict with the same accuracy; in practice however they are able to produce better explanations than predictions. Induction and analogy do not guarantee to obtain hypothesis, laws and theories. In general, the most important factor in the methodology of science is the logic inherent in the acceptance of hypothesis: out of the several proposed, those that survive the most rigorous tests are accepted; subsequently however, some of these may be eliminated or replaced by other more testable hypothesis. The geologic community, as all other scientific communities, does not act according to a fixed set of rules and methods. Its general behavior is defined not only by internal factors but also by the philosophical, historical, political and economic factors that prevail in human society at a given time. The basic goal of geology, and of all other scientific disciplines, is cognitive. The achieved knowledge, when wisely applied by technicians and politicians, can help mankind to control and improve its own successful evolution. Geology is not only historical, in the sense that it attempts to build a descriptive chronicle of single configurations and events, but also, and in order to be able to do that, has a theory which incorporates important types of configurations and events that recur in space and time. Thus, explanation in geology is grounded in hypothesis, laws and theories. It is a mistake, however, to assume that the goal of geology, and science in general, is to obtain law statements similar to those of physics, but also to assert that geology does not attempt to derive objective laws. The degree of universality of any law statement is inversely related to the complexity of the facts it attempts to systematize. Geology, in usually dealing with facts more complex than those of physics, has few universal statements and more empiric generalizations and probabilistic laws; these categories, however, seem to be the most usual in science in general. Therefore, because the starting points are different, it is improper to compare the success of disciplines like physics and chemistry with those of geology in

que la Física, tiene menos enunciados de carácter universal y más generalizaciones empíricas o leyes probabilísticas, categorías estas dos que parecen ser el tipo más común dentro de la ciencia en general. En consecuencia no se pueden establecer grados de desarrollo o carácter científico de las diferentes disciplinas sobre la base del aparente éxito en la obtención de enunciados de tipo universal, pues los puntos de partida no son comparables. El objetivo de la Geología, como el de toda la Ciencia, es explicativo, y para ello las hipótesis, leyes y teorías sólo son un medio. La reducción de la Geología a la Física o la Química no parece momentáneamente posible, pues cuando los mismos fenómenos son explicados en términos y leyes físicos y químicos se habla de Física o Química y no de Geología. En el estado de conocimientos presente para dar cuenta de hechos y regularidades geológicas es necesario usar, además de hipótesis, leyes y conocimiento correspondientes a otros campos de la ciencia, términos geológicos y teorías que hagan uso de éstos. Estas deben ser compatibles con las leyes físicas y químicas, pero ello no significa que su falsación implique la de estas últimas. La madurez de la Geología se puede determinar por su posesión de una teoría unificadora compleja, con gran poder explicativo, que es aceptada como paradigma de su actividad por prácticamente toda la comunidad geológica.

Bajo la denominación de "Principios" geológicos se han incluido enunciados correspondientes a categorías diferentes, e.g. métodos de trabajo, leyes y axiomas generales de la ciencia. El Principio del Uniformismo se relaciona con una serie de conceptos que deben ser diferenciados: 1) el axioma de legalidad es una hipótesis metafísica, que presupone la existencia de un ordenamiento universal, que además, admite no sólo la existencia de regularidades que varían con el tiempo sino la existencia de otras cuyos efectos no han sido detectados por el hombre; 2) "actualismo" que establece que los enunciados legaliformes y las propiedades del universo no han variado con el tiempo; pese a que en gran medida su fundamentación se halla en la Geología y la Paleontología, también tiene vigencia en las demás disciplinas científicas, donde se da por sentado; 3) la constancia y uniformidad espacio-temporal de la materia y los enunciados de leyes no significan las de las diferentes configuraciones y procesos del Universo; y los procesos universales son irreversibles por más que muchas configuraciones geológicas no muestren evidencias de variaciones seculares definidas; 4) la metodología basada en el *actualismo* es sólo una de las que los geólogos usan en la reconstrucción de la historia de la Tierra.

the formulation of universal statements. Hypothesis, laws and theories are only tools devised to systematize our knowledge of the universe. The reduction of geology to physics and chemistry does not appear to be totally possible at the present time. In order to explain geological facts and regularities it is necessary to use, besides hypothesis, laws and knowledge from other fields of science, theories and terminology strictly geological. These must be compatible with the laws of physics and chemistry, but the falsifiability of the former does not imply the falsifiability of the latter. The maturity of geology lies in its complex theory which is accepted as the paradigm of activity for almost all the geologic community.

Under "Geologic Principles" have been included statements of different categories, i.e. techniques, laws, and general axioms of science. The uniformitarian principle includes different concepts: 1) the "legality axiom", which is a metaphysical hypothesis that assumes the existence of an universal order, and furthermore, that accepts not only the existence of regularities which change with time, but the existence of others still unknown to the human race; 2) "Actualism" which asserts that the law statements and the properties of the universe have not changed through time. Even if the factual proofs are mainly in the field of Geology it is assumed in all the scientific disciplines; 3) the permanence and uniformity of the properties of matter and law statements in space and time does not imply the same for configurations, intensities and rates of the processes that existed through earth history. The universal processes are irreversible in spite of the fact that many of the configurations of the earth do not show evidences of secular changes; 4) the methodology based in actualism is only one of those used in the earth and planetary sciences to explain different configurations and events.

Introducción

Al finalizar el año 1974 las asociaciones geológica y paleontológica de nuestro país completaron la impresión de un total de 40 volúmenes —29 y 11 respectivamente— de sus revistas periódicas.

Una inspección de los mismos revela la falta de contribuciones en las que se trate

de alguna manera de los fundamentos de las ciencias geológicas.

Pese a que este fenómeno es común a las restantes publicaciones argentinas de la especialidad, no es probable que ello refleje la ausencia en nuestro medio de una problemática que subyace toda actividad científica.

Posiblemente ello se deba a la existencia de una serie de factores, de índole diversa, entre los cuales quizás jueguen un papel preponderante la complejidad y carácter filosófico de muchos de los problemas a discutir, que han llevado a considerar este tema como propio de los filósofos de la ciencia, restringiendo su tratamiento, dentro del campo geológico, a la reflexión e intercambio de ideas a nivel personal.

No obstante esto, parece esencial que una comunidad científica y profesional ponga en claro —o por lo menos lo intente— la naturaleza de los conceptos, problemas, métodos, razonamientos y objetivos de la actividad que desarrolla. Que establezca —o trate de hacerlo— qué diferencias guarda ésta con las de otras disciplinas científicas, y cuál es su posición y perspectivas dentro del conjunto general de la ciencia.

El tratamiento de estos temas no sólo ha sido descuidado en nuestro medio, sino en el ámbito internacional en general, y ello es particularmente notable cuando se establecen comparaciones con la Física, la Química o la Biología.

Tal como lo ha señalado Maskin (1963, p. 137, nota 2 al pie) la Geología casi no es mencionada en la literatura dedicada a la historia y filosofía de la ciencia. De allí que se considera que todavía "debe aclarar la singularidad de su aproximación, demostrar que ha contribuido con ideas de interés para todas las ciencias y formular y nombrar éstas como principios o conceptos específicos" (Hagner, 1963, p. 240). En definitiva, pareciera haber una "necesidad obvia para el pensamiento fundamental acerca de la Geología" (Hagner, *op. cit.*, p. 241).

La principal justificación de estos objetivos se encuentra tal vez en la importancia que ellos revisten para el planteamiento adecuado de los métodos y finalidades de la enseñanza de las ciencias de la Tierra. Así lo entendió la *Geological Society of America* al decidir, tomando en cuenta la recomendación efectuada por una comisión que investigara el estado de la educación en la Geología, que la estructura lógica de ésta tendría que ser reexaminada "desde sus cimientos" (Albritton, 1963b, p. v), y que el tema de la asamblea conmemorativa de su 75 aniversario fuera la *Filosofía de la Geología*.

Como Kints (1974, p. 1) ha señalado, en los años transcurridos desde la publicación del volumen resultante de esa reunión, la teoría de la Nueva Tectónica Global ha producido una revolución en las ciencias de

la Tierra que ha traído aparejados no sólo la introducción de nuevos temas y métodos de estudio, sino también la modificación, a veces substancial, de los ya existentes. Paralelamente, la sociedad humana ha llegado a un momento de su desarrollo en el cual sus diferentes sectores, y en especial los intelectuales, se encuentran abocados, consciente o inconscientemente, a un examen crítico de sus respectivas actividades.

A la luz de todos estos cambios resulta evidente que la necesidad, señalada más arriba, de esclarecer la metodología y los objetivos de la Geología en relación con los de otras disciplinas científicas, se ha vuelto más manifiesta.

La mayor parte de los tópicos que se considerarán a continuación —especialmente los de orden metodológico— han sido objeto de estudio y discusión por más de dos milenios; por ello conviene aclarar, como ya lo hiciera Gilbert (1886, p. 284) hace casi un siglo, que *in the statement of these considerations it is impossible to avoid that which is familiar, and even much that is true... I shall merely attempt to outline certain familiar principles, the common property of scientific man, with such accentuations of light and shade as belong to my individual point of view*. Discusiones más exhaustivas y adecuadas sobre la epistemología de la ciencia en general pueden hallarse en la bibliografía mencionada en el texto.

1. Ciencia, protociencia, especulación

Quienquiera que se preocupe por revisar la literatura pertinente encontrará que las diferencias de opiniones que caracterizan a muchos de los problemas de la filosofía de la ciencia comienzan al intentar definir qué es lo que se entiende por ciencia (cf. Popper, 1962, p. 51; Simpson, 1963a).

Pese a que el problema es complejo, razón por la cual cualquier respuesta que pretenda ajustarse a la realidad debe ser acompañada por una serie de explicaciones complementarias, existe un concepto, no siempre definido con exactitud, que explícita o implícitamente, ha influido en las discusiones de muchos de los trabajos previos de naturaleza similar.

Es por ello que, como punto de partida, se adoptará una definición que aparentemente responde a dicho concepto, dejando en claro, sin embargo, que ello no implica aceptar su

valides y que posteriormente se discutirán sus alcances.

Según Bunge (1969a, p. 32) Ciencia "es una disciplina que utiliza el método científico con la finalidad de hallar estructuras generales (leyes)", debiéndose destacar que, pese a que manifiesta que "el blanco primario de la investigación científica es el *progreso del conocimiento*" remarca que lo que se busca "es establecer mapas de las estructuras (leyes) de los varios dominios fácticos" (p. 45) (ver también Braithwaite, 1968, p. 1).

Ese autor ha señalado también "que cuando las técnicas científicas se aplican a la consecución de datos sin hallar estructuras generales se consigue ciencia embrionaria, *protociencia*", y que "cuando el objetivo perseguido es el de la ciencia madura, pero... no se utilizan su método ni sus técnicas..." se está ante la especulación *acientífica* (Bunge, 1969a, p. 45).

De allí que el análisis de la Geología con el objeto de determinar su carácter implica, si se aceptan los conceptos mencionados, establecer si su metodología realmente es científica y si ha logrado hallar estructuras generales (leyes).

II. Metodología

Una de las cuestiones que ha ocupado la atención de muchos científicos, desde el momento mismo en que las diversas disciplinas comenzaron a diferenciarse, ha sido el saber si hay una o varias metodologías; interrogante éste íntimamente vinculado con el problema de definir si hay una o varias ciencias (Siever, 1968, p. 70).

La respuesta, tanto en el campo de la Geología como en el de la Paleontología, ha consistido mayormente, como se verá, en tratar de demostrar que éstas son diferentes, en cierta medida, de otras ramas de la ciencia tales como la Física y la Química, debido a que se ocupan de hechos históricos.

De acuerdo con esta concepción, que ha sido sostenida repetidamente por Simpson (1963b, 1964, 1970a) y Kitts (1963a, b; 1974) (ver también van Bemmelen, 1960), la metodología de las "ciencias históricas" sería diferente de la de las "no históricas".

Para Simpson (1970a, p. 90) el procedimiento general de las primeras consistiría en: 1) obtención y ordenamiento de datos; 2) determinación de procesos actuales; 3) confrontación de (1) y (2). Este método,

basado en el *uniformismo* o *actualismo*, sería esencialmente retrodictivo, pues trataría de inferir las causas a partir de los resultados, y diferiría de las explicaciones hipotético-deductivas (secuencia hipótesis-producción-experimento), que caracterizarían a las "ciencias no históricas", debido a que estas últimas se basarían en la repetición de eventos mientras que aquel sólo explicaría sucesos o configuraciones únicas.

Kitts (1963b, 1974) por su parte ha considerado que en la Geología lo común es efectuar generalizaciones a partir de observaciones, las que podrían ser universales, estadísticas o normicas, según fuesen respectivamente de carácter universal, casi universal, o comprendiesen también una explicación relativa a los eventos excepcionales. El método sería así de tipo inductivo, pese a que las generalizaciones se formularían de manera tal que no violasen las leyes de la Física y la Química y a que, en algunos casos, serían deducibles de éstas. En su posición parcialmente inductivista este esquema no difiere de los descriptos por Johnson (1933) y van Bemmelen (1960) (ver también Cloud, 1970b).

Pese a que las distinciones hechas por los autores mencionados no son siempre claras, podría concluirse que las ciencias "históricas", entre las que se contaría la Geología, serían esencialmente observacionales y tenderían a obtener generalizaciones, usualmente en forma inductiva, y a explicar sucesos y configuraciones históricas mediante retrodicciones. Las "no históricas", típicamente representadas por la Física, tratarían de demostrar experimentalmente la validez universal de ciertas hipótesis, de manera tal que tendrían un carácter netamente predictivo y su método sería hipotético-deductivo.

Aunque la posible existencia de diferentes metodologías está íntimamente relacionada con la posible división de las ciencias en función de diferentes objetivos, tema éste que será tratado más adelante, resulta conveniente hacer algunos comentarios con respecto a ciertos puntos puestos de relieve en la exposición precedente. Cabe si aclarar, sin embargo, que en la exposición que sigue se halla implícito el concepto de que a la Geología compete el estudio de las configuraciones y procesos pasados, presentes (y futuros) del planeta Tierra.

La idea de que la Geología es esencialmente observacional y descriptiva, a diferencia de la Física que sería eminentemente experimental y teórica, se basa en razones

como las expuestas. A pesar de que tanto Simpson (op. cit.) como Kitts (op. cit.) han reconocido su carácter mixto (ver también Whewell, 1847, 1857).

Es cierto que uno de los objetivos de aquella es la reconstrucción de las diferentes configuraciones que se han sucedido en la historia de la Tierra, y que la complejidad de las mismas hace imprescindible dedicar esfuerzos relativamente grandes a la observación, descripción y ordenamiento de datos. Pero ello no faculta a efectuar una distinción entre ciencias observacionales (y descriptivas) y experimentales (y teóricas), pues la observación y la descripción son comunes a todas las disciplinas científicas. Las diferencias que se pueden establecer son sólo de grado y dependen usualmente del estado de desarrollo de los temas que ocupan a una comunidad de estudiosos en un momento determinado.

Tal como lo ha expresado Popper (1972, p. 308-312; ver también Gilluly, 1963; Siever, 1968; Medawar, 1969), toda observación es una percepción planificada y preparada y va siempre precedida por un problema, una hipótesis, o algo teórico y especulativo pues "sólo mediante hipótesis aprendemos qué tipo de observaciones tenemos que hacer, hacia dónde debemos dirigir nuestra atención y en qué hemos de interesarnos". Las observaciones y descripciones implican una selección de variables pertinentes como evidencias positivas o negativas para un problema originado en un cuerpo previo de conocimientos. De no ser así, tales observaciones se efectuarían por el mero hecho de hacerlas, lo que daría como resultado una maraña —nunca completa— de información. Ya Darwin (*In F. Darwin y Seward*, 1903, p. 195; cf. Medawar, 1969, p. 11) señalaba con respecto al supuesto carácter observacional de la Geología, lo extraño que resulta que no se comprenda que todas las observaciones, para ser de utilidad, deben apoyar o negar algún punto de vista.

No obstante lo apuntado, es conocido que hay quienes se dedican a observar y describir fenómenos sin plantearse si los mismos corroboran o no las hipótesis o teorías a la luz de las cuales han sido registrados, negándose así la posibilidad de llegar a mejorar éstas o de introducir otras nuevas. Pero esto en definitiva tal vez no sea más que uno de las consecuencias negativas de lo que Kuhn (1970) ha denominado "ciencia normal", esto es, en la definición de dicho autor, la que sólo efectúa investigaciones basadas en

concepciones establecidas y universalmente aceptadas por una comunidad científica como base de su actividad —i.e. paradigmas— contribuyendo a aumentar el alcance y precisión de las mismas, aunque sin introducir innovaciones.

De igual manera que la naturaleza de las configuraciones que estudia la Geología no faculta a sostener que es una disciplina exclusivamente observacional, la complejidad y, en ocasiones, no reproducibilidad de los experimentos naturales de los que aquellas son resultantes, no justifica sostener que no es experimental.

En este sentido la diferencia con la Física y la Química radicaría en que éstas tratan usualmente con experimentos de pocas variables, aislados del ambiente, y reproducibles. En las ciencias de la Tierra, en cambio, al igual que en la Biología, mayormente se estudian sistemas abiertos, con gran número de variables, cuyas condiciones en muchos casos, no son reproducibles.

La realidad indica, sin embargo, que existen numerosos tipos de experimentos, y que aun en la Física y la Química no sólo se encuentran los más simples, que se repiten casi diariamente, sino aquellos de naturaleza más compleja que, pese a que en principio existe la posibilidad de repetirlos, sólo se efectúan una sola vez (cf. Ziman, 1968, p. 34).

Los geólogos por su parte, si bien estudian configuraciones aparentemente únicas, pueden reconstruir, sobre la base de las mismas y su confrontación con ciertas hipótesis y teorías, los experimentos ocurridos en el gran laboratorio de la naturaleza (cf. Bradley, 1963; McKelvey, 1963; Watson, 1966).

Además, estudian clases de eventos —y sus resultados— que se repiten constantemente, o pueden hacerlo, y que son los que justifican en definitiva la posibilidad de utilizar circunstancias actuales para explicar la historia del planeta. Paralelamente, y hasta donde ello es posible sin que los problemas dejen de ser significativos para el nivel de análisis propio de la disciplina, hacen uso de modelos experimentales mediante técnicas de laboratorio (cf. Simpson, 1963b, p. 30; 1964, p. 144-147).

En consecuencia, pretender que la Geología no es experimental significa enfatizar ciertos aspectos metodológicos en detrimento de los restantes, y aceptar que los experimentos por excelencia son aquellos más comúnmente utilizados en la Física y la Química. Tal concepción constituye una parcialización de la realidad, pues, como lo ha expresado

Siever (1968, p. 74) la ciencia experimental es de muchas clases y aunque los controles y la habilidad para observar diferentes partes de un experimento pueden variar, su naturaleza es la misma dondequiera que uno los observe.

Vinculada con el supuesto carácter observacional de la Geología se encuentra la idea de que ésta va en sus razonamientos, de los hechos a las generalizaciones teóricas, en una secuencia que incluiría: 1) la observación y registro de hechos; 2) su análisis y clasificación; 3) la obtención de generalizaciones mediante inferencias inductivas; 4) su contrastación posterior con nuevos hechos (cf. Johnson, 1933; Bradley, 1963).

La validez, en general, de tal tipo de inducción ha sido puesta en duda con argumentos muy convincentes, desde Hume en adelante, por numerosos filósofos de la ciencia (cf. Hempel, 1966; Popper, 1962, 1972; Hull, 1974), quienes han sostenido que las hipótesis y leyes, ya sean de tipo universal o probabilístico, deben diferenciarse de las generalizaciones accidentales, y que no existe ningún procedimiento mediante el cual las primeras puedan ser formuladas automáticamente a partir de un conjunto de datos. Una hipótesis o una teoría son construidas sobre la base de conceptos nuevos que no han sido usados previamente en la descripción de los datos originales: "no son derivadas de los hechos observados, sino inventadas para dar cuenta de ellos" (Hempel, 1966, p. 15).

La historia de la ciencia demuestra que los científicos descubren hipótesis de muchas maneras diferentes, siguiendo pautas —de las cuales usualmente no son conscientes— cuyo orden y complejidad dependen de numerosos factores. Estos procedimientos son tan variados y su éxito tan imprevisible que es poco lo que puede decirse con respecto a los mismos, salvo que ninguno puede garantizar la obtención de resultados válidos, y que éstos pueden serlo independientemente de cómo se los obtuvo (cf. Young, 1951; Hull, 1974). Esto se encuentra magníficamente ejemplificado en la descripción de los hechos que condujeron al descubrimiento de la estructura molecular del ADN por J. D. Watson y F. H. Crick (Watson, 1968), y en la influencia que ejercieron la formación intelectual y determinadas lecturas en las concepciones de Hutton sobre la Tierra y el Universo (McIntyre, 1963). Lo expuesto también es válido con respecto a la suposición de que las hipótesis se producen por analogías (cf. Gilbert, 1896; McIntyre, 1963), ya

que éstas, incluso cuando emplean modelos (cf. Harré, 1970), requieren la existencia previa de aquéllas.

Es evidente pues, que la forma en que se originan las hipótesis y teorías no puede ser utilizada para caracterizar a la ciencia ni para establecer diferenciaciones dentro de ella. Como se verá, esto último tampoco es posible sobre la base de supuestas asimetrías entre explicaciones y predicciones.

Según Hempel (1966) las explicaciones y predicciones se obtienen mediante inferencias hechas a partir de hipótesis (o leyes) y un conjunto de condiciones iniciales. Dichas inferencias pueden ser deductivas o inductivas. En las primeras se usan hipótesis o leyes supuestamente universales, se va de lo general a lo particular, y si las premisas son verdaderas la conclusión también lo es. En las segundas (estadístico-probabilísticas) se va de lo particular a lo general, y en ellas la verdad de las premisas no garantiza la de la conclusión (aunque ésta puede ser verdadera con un alto grado de probabilidad). Así la capacidad explicativa o predictiva estaría directamente relacionada con el grado de aproximación de la inferencia al ideal deductivo (cf. Hempel, 1966; Hull, 1974). Es de notar que aun en los más elementales razonamientos estadísticos intervienen hipótesis estadísticas, a partir de las cuales el proceso es estrictamente deductivo, de manera tal que la inferencia estadística sería un ejemplo más —un tanto peculiar si se quiere— del método hipotético-deductivo (Profesor J. Bosch, *in litt.*, 1976).

Este modelo asume que explicación y predicción presentan las mismas características lógicas, pese a que la primera se relaciona con el pasado y la segunda con el futuro. O sea que existiría una simetría entre explicar y predecir. Ello se basa en que tanto las explicaciones como las predicciones son hechas sobre la base de las mismas hipótesis (o leyes), de manera tal que si se conocen éstas, y las condiciones existentes en un sistema en un momento determinado, es posible inferir cualquier otro momento —pasado o futuro— del mismo (cf. Ziman, 1968, p. 41; Popper, 1972, p. 318).

El tema, sin embargo, ha sido y es objeto de debate, pues hay casos donde existe una asimetría entre predicción y explicación.

Una de las objeciones a este modelo está basada en la asimetría que existe entre causas y efectos, la que se deriva del hecho que para producir determinados efectos las causas pueden ser necesarias pero no suficientes

o suficientes pero no necesarias. Así por ejemplo, cuando una causa (X) es necesaria pero no suficiente para producir un efecto (Y), (X) puede ser inferida a partir de (Y) pero lo inverso no es posible; i.e. la existencia de vulcanismo es necesaria pero no suficiente para originar una meseta basáltica (Simpson, 1963b, p. 37). De manera similar, cuando una causa (X) es suficiente pero no necesaria para producir un efecto (Y), (Y) puede ser inferido de (X) pero lo inverso no es necesariamente correcto; i.e. si se invirtiera la dirección de rotación de la Tierra se produciría una marea gigante, pero para que suceda esto último no es necesario que ocurra lo primero (Hull, 1974, p. 94).

La primera situación justifica las inferencias con respecto al pasado, mientras que la segunda lo hace con respecto al futuro, y Scriven (1959) y Simpson (1963b, 1964 y 1970) han sostenido, que aquella es la que se observa más corrientemente en las "ciencias históricas", como la Geología y la Paleobiología, mientras que en las "no históricas", como la Física y la Química, generalmente no existirían problemas con la asimetría entre explicación y predicción.

Es de notar sin embargo, que en el caso de la teoría de la evolución, aunque los fenómenos con causas necesarias pero no suficientes parecen constituir el tipo más común, existen ambas situaciones, y que tales circunstancias parecen ser comunes a toda la Ciencia (cf. Harri, 1968, p. 18; Watson, 1969, p. 493; Hull, 1974, p. 95).

Aunque esto no fuera así, la asimetría entre causa y efecto no necesariamente contradice la tesis sobre la simetría en la estructura lógica de las explicaciones y predicciones científicas (cf. Bunge, 1959; Hull, 1974, p. 95).

Indudablemente la tesis de la asimetría entre explicación y predicción es apoyada por casos, comunes en la Geología, en los cuales se dispone de información que, dadas sus características, permite reconstruir el pasado con un grado de detalle y certeza superior al que es posible en una predicción del futuro. Esto se debe a que se reconoce que ciertos datos actuales son al mismo tiempo un registro de sucesos pretéritos, pero en la medida en que se toman las circunstancias actuales sin considerar su carácter de registros de eventos históricos la asimetría apuntada se vuelve menos evidente (Hull, 1974, p. 96).

En consecuencia esta asimetría es más gnoseológica (y epistemológica) que lógica (cf.

Bunge, 1959, p. 307), y es la misma, que con diferentes grados, caracteriza a toda la Ciencia. Por ello la naturaleza de las explicaciones geológicas no es fundamentalmente diferente de la que es común a las demás disciplinas científicas (cf. Bunge, 1959, p. 330-331), y los geólogos no renuncian, pese a la complejidad de los hechos que estudian, a intentar aumentar la precisión de sus predicciones, tal como lo demuestra la aplicación de la teoría de la Nueva Tectónica Global en el pronóstico de terremotos (cf. Press, 1975; Kable, 1974).

Resta señalar, en relación con este tema, que hay quienes sostienen que las predicciones más que establecer una relación entre presente y futuro lo hacen entre conocido y desconocido. De esta manera es posible, sobre la base de hipótesis y teorías, efectuar predicciones sobre hechos históricos desconocidos cuyo hallazgo posterior confirma las mismas (cf. Kite, 1963a, p. 303). Pero esto tal vez no sea más que un problema de definición (cf. Mayr, 1961, p. 1504-1505) y no altera la asimetría mencionada más arriba.

En definitiva, y de acuerdo con lo expuesto, no existen evidencias como para sostener que la metodología de la Geología es fundamentalmente diferente de la del resto de las disciplinas científicas. Las diferencias existentes sólo lo son de grado, o énfasis, y son epistemológicamente importantes, no sólo porque permiten establecer clasificaciones provisionales dentro del campo de la ciencia, sino también porque niegan el supuesto carácter paradigmático de la Física y conducen a definir la metodología en forma más amplia y pragmática, sin entrar a detallar secuencias o procesos lógicos "ideales". Una situación similar se presenta entre las diferentes especialidades de una misma disciplina (cf. Valentine, 1975).

Resta mencionar que tal vez uno de los elementos fundamentales del método científico sea la lógica que rodea la aceptación de las hipótesis, ya que si bien éstas pueden ser "libremente propuestas sólo pueden ser aceptadas e incorporadas al corpus del conocimiento... si resisten la revisión crítica" (Hempel, 1966, p. 16). Según Popper (1962, p. 41) "lo que caracteriza al método empírico es su manera de exponer a falsación el sistema que ha de contrastarse: justamente de todos los modos imaginables. Su meta no es salvarles la vida a los sistemas insostenibles, sino por el contrario, elegir el que comparativamente sea más apto, sometiendo todos a la más ápera lucha por la supervivencia". Concep-

ción ésta a la que se ajusta el método de las hipótesis múltiples de Chamberlin (1890; ver también Gilbert, 1886), que Gilbert (1896) aplicara a los problemas geológicos.

Cabe remarcar que la aceptación y grado de verificación de una hipótesis o teoría depende de que haya pasado contrastaciones muy exigentes, y aunque no se pueda justificar la pretensión de que responde a la realidad, se puede justificar el que a un nivel dado de la discusión todo indica que constituye una aproximación mejor a ésta que cualquiera de las hipótesis o teorías rivales propuestas hasta ese momento. Su eliminación y reemplazo se produce cuando se la puede sustituir por otra más contrastable (Popper, 1972, p. 84).

Es notorio sin embargo, que en muchas ocasiones este método, o cualquier otro similar (cf. Platt, 1964), no sólo no lo aplica un investigador aislado, sino prácticamente la totalidad de una comunidad científica, sin que por ello se llegue a dudar del carácter de ésta.

Tal es el caso del rechazo de la teoría de la deriva continental propuesta por Wegener, y su posterior aceptación, pues como Ziman (1968, p. 57) lo ha destacado, 1) la mayor parte de las evidencias que hoy día se utilizan en apoyo del desplazamiento de los continentes no dependen de las técnicas geofísicas, y se conocían o se podrían haber obtenido 50 años atrás; 2) la principal objeción que se planteó en aquel entonces, i.e. la carencia de una explicación que incluyese un mecanismo apropiado, subsiste en la actualidad.

Quizás ello se origine, al igual que en otros casos similares, v.gr. el descubrimiento y redescubrimiento de los experimentos de Mendel (cf. Stent, 1972) y las resistencias a la teoría de Darwin (cf. Mayr, 1972) (ver también Davis, 1926; Kuhn, 1970), en el hecho de que la ciencia es en cierta medida una empresa social (cf. Ziman, 1968) y que la comunidad científica, o "Invisible College", que la lleva a cabo está sujeta, en cada época, a un clima intelectual determinado en el cual no son menos importantes que el comportamiento de la comunidad en sí (cf. Ziman, 1968; Crane, 1972) y el conjunto de conocimientos existentes, las influencias filosóficas, históricas, políticas y económicas de la sociedad que la rodea (cf. Toulmin, 1967). Un análisis de este problema entra dentro del campo de la Sociología de la Ciencia y escapa al objetivo de este trabajo.

El caso de Wegener, citado más arriba,

no sólo es ilustrativo de la complejidad del tema, sino también de los errores a los que suele llevar la convicción de que la Física es el paradigma de la ciencia. Pues el argumento más fuerte en contra de la deriva provino de H. Jeffreys, un matemático de la Universidad de Cambridge, quien, sobre la base de evidencias sismológicas, calculó que la Tierra era demasiado rígida como para que ella fuese posible.

Un caso similar (cf. Hallam, 1973) se encuentra en la controversia entre Lord Kelvin y los geólogos del siglo pasado, sobre la edad de la Tierra, en la cual aquél llegó a sostener que, según sus cálculos, ésta oscilaba entre 20 y 40 millones de años.

Ello demuestra en definitiva que los geólogos por el momento sólo pueden resolver los problemas del nivel de complejidad que les compete dentro de éste, haciendo uso de todos los recursos a su alcance y sin suponer la superioridad de ninguno. Particularmente perniciosa es la creencia de que el mero hecho de expresar leyes y descripciones numéricamente las convierte en proposiciones matemáticas de validez universal (cf. Harré, 1970, p. 9).

Es bueno notar finalmente que, a pesar de la resistencia que una comunidad pueda poner a determinadas innovaciones, llega un momento en que el carácter de éstas y la existencia de anomalías no explicadas con anterioridad, lleva a una serie de investigaciones extraordinarias que dan como resultado la aceptación, en lo que Kuhn (1970) ha denominado "revoluciones científicas", de un nuevo conjunto de compromisos básicos —o paradigmas—.

III. Objetivos de la Geología

De lo que se ha dicho más arriba se desprende que existe una serie de pautas metodológicas comunes a toda la ciencia, cuya aplicación es arbitrio exclusivo de los investigadores. De donde se seguiría, si se acepta la definición de Bunge (op. cit.), que la determinación del carácter científico de la Geología quedaría restringida a la comprobación de su capacidad para hallar estructuras generales (leyes).

Aunque este tema ha preocupado desde antiguo a muchos geólogos, los intentos para establecer "leyes geológicas" han ido disminuyendo, hasta casi desaparecer, en el curso del presente siglo. No son comunes los

casos como el de Bucher (1933), quien llegó a mencionar un total de 46.

De allí que se sostenga que "la geología es una de las ciencias pobres en leyes" (Bunge, 1969a, p. 358) "que todavía se halla en su fase embrionaria" (Bradley, 1963, p. 22). La conclusión sería que se trata de una Protociencia, y que se debe confiar en que "algún día envejeceremos y tendremos más leyes" (Bradley, op. cit.) para alcanzar así el rango de ciencia.

Al respecto cabe señalar que estas conclusiones reflejan una visión parcializada de la realidad. Como se verá a continuación la Geología no sólo posee características que son comunes a todas las disciplinas científicas, sino que también cuenta con elementos y un nivel de complejidad que le son propios, razón por la cual no se la puede juzgar utilizando criterios que tienen su origen y justificación en otros campos del conocimiento.

1) *Objetivo cognoscitivo*

El objetivo de la Geología, tomando en cuenta la definición de Lyell (1832), es el conocimiento del planeta Tierra, de su historia y evolución, y de los procesos que han actuado y actúan en el mismo.

Es de remarcar esta finalidad fundamentalmente cognoscitiva, dada la creencia, cada vez más amplia, de que la investigación debe estar dirigida a la obtención de resultados de utilidad práctica.

Pues si bien existe una interrelación fecunda entre ciencia pura y aplicada, es evidente que ésta, en general, ha ido a la zaga de aquélla, ya que "tiene que haber conocimiento antes de poder aplicarlo" (Bunge, 1969a, p. 43). Por eso es un error exagerar los objetivos externos de la ciencia y pretender suprimir o restringir la libertad de investigar, esto es la de "dudar de las ideas recibidas y... de intentar establecer otras nuevas, aunque no parezcan socialmente útiles". Así, por último, sólo se logra el estancamiento tecnológico (Bunge, 1969a, p. 44).

Por otra parte, en la medida en que la tecnología se ha desarrollado independientemente, sin preocuparse por entender los procesos del mundo y su impacto en ellos, el resultado ha sido finalmente negativo. A atestiguarlo contribuye el deterioro del medio ambiente (cf. Langrish, 1974).

La importancia de estos conceptos lamentablemente no ha sido siempre comprendida por quienes tienen la responsabilidad de tra-

zar la política científica y distribuir los fondos asignados a su consecución. Esta incompreensión, muchas veces basada en la ignorancia, usualmente ha conducido a la marginación del enorme potencial de objetivos de largo alcance en aras de pequeños logros inmediatos sin mayor trascendencia futura (cf. Richter, 1953).

Como bien lo ha expresado Bunge (1971, p. 47) "la utilidad de la ciencia es una consecuencia de su objetividad; sin proponerse necesariamente alcanzar resultados aplicables, la investigación los provee a la corta o a la larga". Por ello "es redundante exhortar a los científicos a que produzcan conocimientos aplicables, no pueden dejar de hacerlo. Es cosa de los técnicos emplear el conocimiento científico con fines prácticos, y los políticos son los responsables de que la ciencia y la tecnología se empleen en beneficio de la humanidad".

Esto no implica que la utilidad de algo esté en relación directa con su significación económica según los criterios casi universalmente aceptados en la sociedad contemporánea (cf. Schumacher, 1974).

La finalidad cognoscitiva es, sin embargo, común a todas las disciplinas, incluida la Geología, y en consecuencia lo suficientemente amplia como para que no pueda ser utilizada para establecer diferencias entre éstas. Recién cuando se intenta determinar el grado de sistematicidad del conocimiento —especialmente en forma de leyes—, pareciera ser posible discriminar entre campos más, y menos, científicos.

Resulta así necesario determinar si todas las disciplinas tienen un objetivo legaliforme, qué se entiende por este último, y cuál es la situación de la Geología al respecto.

2) *Objetivo legaliforme*

Como ya se ha visto, la definición de Ciencia enunciada por Bunge (op. cit.) coloca como objetivo de ésta la formulación —o el descubrimiento— de leyes.

Antes de considerar hasta qué punto esto es aplicable al campo de la Geología corresponde primero establecer qué se entiende por *Ley*.

Según Bunge (1969a, p. 334) es "una hipótesis confirmada de la que se supone que refleja un esquema objetivo", o "es una hipótesis científica confirmada que afirma una relación constante entre dos o más variables, cada una de las cuales representa (al

menos parcial e indirectamente) una proposición de sistemas concretos" (p. 342).

El mismo autor (Bunge, 1971, p. 99) se ha encargado de aclarar, sin embargo, que "sólo unos pocos estudiosos de la ciencia concuerdan respecto de lo que designa el término 'ley' en el contexto de la ciencia" (ver también Bunge, 1960; Bradley, 1963).

Es que como Hempel (1966, p. 55) ha puntualizado, si se aplicase el término "ley" exclusivamente a enunciados que se saben verdaderos, aquellos a los que comúnmente se denomina leyes no se considerarían como tales. Por ello el mismo se emplea con cierta liberalidad a proposiciones de diferente nivel o grado de aproximación a la realidad.

Cabe remarcar aquí la diferencia entre leyes naturales, que describen hechos de la naturaleza, y leyes normativas, que comprenden las normas o convenciones establecidas por la sociedad humana. Especialmente destacable es que esta distinción implica el dualismo entre hechos y decisiones, o autonomía ética, según la cual la responsabilidad de las decisiones éticas pertenece a cada individuo y no puede ser delegada si no se quiere retornar al sometimiento a la magia tribal (cf. Popper, 1966).

Dentro de las leyes naturales debe distinguirse fundamentalmente entre lo que Bunge (1969a, p. 376-7) ha llamado "leyes objetivas", y lo que pueden denominarse "enunciados de leyes". Las primeras designan "un esquema objetivo de una clase de hechos (cosas, acontecimientos, procesos), o sea, cierta relación constante o red de relaciones constantes que se cumplen realmente en la naturaleza, las conozcamos o no" (Bunge, op. cit., p. 375). La suposición de su existencia, que se apoya en el principio de Causalidad, no es falsable, razón por la cual se la considera una hipótesis metafísica (Popper, 1962, p. 59, 230).

Los "enunciados de leyes" en cambio, son aquellos que proponen sucesivamente los científicos, en el curso de sus actividades, con el objeto de obtener "leyes objetivas", en una secuencia que se caracteriza por una aproximación cada vez mayor a ese objetivo inalcanzable (cf. Bunge, 1969a, p. 377-379). Por eso lo que usualmente se llaman "leyes" solo son hipótesis o conjeturas sobre la realidad, de las cuales jamás se puede tener la seguridad de que son absolutamente ciertas (Popper, 1972).

En el caso de la Geología, autores como Bradley (1963) y Simpson (1963b) han coincidido en concluir la casi virtual ausen-

cia de "leyes", aunque difieren en las causas a las que atribuyen este hecho, así como en sus consecuencias.

Bradley (op. cit.) ha destacado la dependencia que existiría con respecto a la Física, la Química y la Biología, así como la naturaleza —a su entender— esencialmente observacional de las ciencias geológicas, concluyendo que se encuentran "en el comienzo de una etapa de su desarrollo" (p. 22), con lo cual las redujo al rango de *Protociencias*. Posición ésta muy similar a la asumida en 1807 por los fundadores de la Geological Society of London (cf. Whewell, 1857, 3, p. 428, 518).

Simpson (op. cit.) ha remarcado en cambio su carácter complejo y considera que su objetivo es "el estudio científico pleno de las configuraciones geológicas" (p. 25), razón por la cual son históricas. En contraposición sostiene que lo inmanente es propio de las ciencias "no históricas", como la Física y la Química, concluyendo que si bien la meta de éstas puede ser hallar leyes, no debe pretenderse que también lo sea la de aquéllas.

La distinción efectuada por Simpson (op. cit.) es similar a la que hiciera Nagel (1968, p. 494; ver también Smart, 1968, p. 7, 91) entre ciencia teórica e historia. Para éste "los historiadores no consideran como parte de su propósito establecer... leyes", y dice expresamente que "un geólogo trata de determinar, por ejemplo, el orden sucesivo de las formaciones geológicas, y lo hace en parte aplicando diversas leyes físicas a sus materiales de estudio; pero no es tarea del geólogo, *qua* geólogo, establecer las leyes de la mecánica o de la desintegración radioactiva que utiliza en sus investigaciones" (p. 495; ver también Kitts, 1963a, b, 1974).

Conviene aclarar, antes de proseguir, que lo histórico en la Geología y en la raza humana no son comparables en lo que respecta a la sistematización mediante enunciados de leyes. Pues en la historia (s. str.), es probable que las "leyes" se modifiquen con los hechos mismos. Así las predicciones en la historia humana pueden influir en la materialización de hechos que de otra manera no se hubieran producido (cf. Bunge, 1969a). Pese a ello, y al condicionamiento de las leyes naturales, la raza humana posee en todo momento la libertad de elegir que hace que su futuro sea impredecible con relativa exactitud (cf. Schumacher, 1974, p. 192). La similitud entre Geología e Historia yace quizás en que tanto los geólogos como los historiadores están interesados en determinar

el lugar y el momento en que un evento tuvo lugar, para sobre tal base construir una crónica histórica (Kitts, 1963a, p. 298).

Lo expuesto con anterioridad plantea una serie de interrogantes:

—¿Es la Geología una ciencia esencialmente observacional, que debe limitarse —por ahora— a acumular datos?

—¿Es su objetivo establecer leyes, y si lo es, de qué tipo?

—¿Es realmente, en su aspecto legaliforme, parte de la Física y la Química? ¿Cuál es su relación con éstas?

El primer punto ha sido discutido más arriba habiéndose concluido que la Geología, además de efectuar observaciones y descripciones, es una disciplina experimental y teórica, al igual que la Física y la Química, y que las diferencias existentes sólo lo son de grado.

Cabe preguntarse ahora si la circunstancia de que aparentemente no existan "leyes" propias implica, tal como pareciera desprenderse de la definición de Ciencia de Bunge (op. cit.) que la Geología todavía no ha alcanzado el rango de tal.

Para contestar esta pregunta en forma apropiada hay que considerar primero cuál es la situación de la Geología dentro del conjunto general de las disciplinas científicas.

Para comenzar es necesario destacar que éstas son fruto de la especialización y de la estructura multinivel de la realidad y se ocupan de hechos de complejidades diferentes. Así los fenómenos objeto de estudio serían sucesivamente más complejos en la Física, la Química, la Geología, la Biología, y la Historia (cf. van Bemmelen, 1960; Simpson, 1963b, p. 46; Bunge, 1969a, p. 67), lo cual no significa establecer una separación neta entre las mismas, ni jerarquías simplistas con grados relativos de superioridad (cf. Bunge, 1969b).

Esta complejidad creciente de la Física a la Historia hallaría su explicación en el hecho de que a partir de aquélla —que trata casi exclusivamente lo immanente y no histórico— hay un incremento de lo configuracional e histórico, en una progresión que se caracteriza por ser compositiva ya que "examina los materiales de implicación primaria y se vigoriza en sistemas de complejidad crecientes" (Simpson, 1963b, p. 46), o a que, como señala van Bemmelen (1960), la evolución cósmica ha dado lugar a una serie de reacciones de la materia, que han originado nuevas posibilidades y factores —factores emergentes— que constituyen niveles en

los cuales las reglas y leyes de los estados más simples son válidas para los más complejos, pero no a la inversa (ver también Mayr, 1961, p. 1505; Medawar, 1969, p. 15-19; Anderson, 1972).

La importancia de lo histórico y de lo no histórico, así como el carácter de los enunciados legaliformes, posiblemente estén determinados por la relación existente entre el hombre y sus objetos de estudio. Es evidente que los enunciados y teorías físicas se han desarrollado en dimensiones donde sólo son de interés las estructuras y comportamientos más generales de la materia, y es posible, por ende, analizar y explicar éstos sobre la base de un número reducido de variables. Allí las historias individuales sólo interesan hasta cierto punto pues en la mayor parte de los casos carecen de significación. Las características de las propiedades de estos niveles se han transmitido por lógica a los enunciados que dan cuenta de ellas, y de esta manera ha sido posible establecer "leyes" que expresan, bajo ciertas condiciones, relaciones constantes de tipo casi universal.

En contraposición a éstos, existen otros niveles, como aquellos de los que se ocupa la Geología, en los cuales existe una *aparente* falta de universalidad. Esta, que en principio puede deberse a que en la observación de tipos de hechos que se caracterizan por su rareza, extensión espacio-temporal y complejidad, la humanidad no sólo está limitada intelectualmente sino también en el espacio y en el tiempo, parece ser real cuando se considera que la materia organizada en planetas sólo compone una ínfima parte del Universo (cf. Watson, 1966, 1969).

En la medida en que estas limitaciones impiden aislar las variables realmente importantes, y que el interés lleva a incrementar la especificidad de los tipos de fenómenos, se hace más difícil establecer enunciados de leyes universales.

Pese a estas diferencias es importante señalar que, como Simpson (op. cit.) lo reconoció, en las ciencias físicas "no históricas" hay atributos históricos, de la misma manera que en las "históricas" existen propiedades no históricas (ver también Bunge, 1959, p. 266). El énfasis de cualquiera de ellos depende del grado de especificación que el interés humano haga de las características de un determinado tipo de fenómeno, el cual culmina cuando se fijan sus coordenadas espacio-temporales y se lo identifica con su ejemplo. Sin embargo, así como el científico

"histórico" no puede interesarse únicamente en particularidades si es que pretende dar explicaciones, el "no histórico" no puede restringirse a lo general si es que pretende que sus leyes sean aplicables a la realidad (cf. Watson, 1969, p. 491).

La Geología, en consecuencia, y como ya lo reconociera Whewell (1847, I, p. 637, 643, 653; 1857, III, p. 401, 410, 449), no sólo comprende una parte histórica que trata de reconstruir las diferentes —y únicas— configuraciones que se han sucedido en el tiempo, sino que además —y para poder llevar ésto a cabo— posee una teoría en la que juegan un papel primordial tipos —abstracciones— que sí son reproducibles en el espacio y en el tiempo. Pues todas las configuraciones, pasadas y presentes, alcanzan cierta semejanza merced a rasgos que les son comunes. Y aunque sean aparentemente únicas, siempre pueden ser consideradas como ejemplificaciones de tipos de eventos que, teóricamente, pueden repetirse en cualquier otro lugar del Universo (cf. Watson, 1966). Los eventos absolutamente únicos, esto es los que no tienen nada en común con los demás, son indescriptibles, pues todas las descripciones y análisis se efectúan en términos de predicados, clases de conceptos o relaciones reproducibles (Kitts, 1974, p. 16).

Es por ello que las explicaciones geológicas también son del tipo en el cual las circunstancias particulares pueden ser incluídas como casos, o ejemplos, de las regularidades de la naturaleza que usualmente se describen como enunciados de leyes (Watson, 1966). En este contexto es de importancia tomar en consideración el nivel de análisis que se está empleando, pues un mismo evento puede ser tratado como un individuo con respecto a un conjunto de hipótesis (o leyes), o como un miembro de una clase en relación a otro (cf. Hull, 1974, p. 48-49). Finalmente, resulta obvio que toda explicación debe darse a la luz de alguna hipótesis (ley o teoría). Una descripción histórica en sí misma no explica los eventos que comprende (cf. Kitts, 1963a; Watson, 1969; Hull, 1974), aunque el ordenamiento de hechos en clases constituye una hipótesis acerca del mundo.

Como ya se ha dicho, el éxito de la Física se ha basado en su capacidad para reducir problemas a un nivel de simplicidad en el cual éstos pueden ser solucionados con los medios disponibles (cf. Weinberg, 1972). Esto significa generalmente tratar con sistemas cerrados de pocas variables, para así

poder establecer relaciones, entre éstas, de validez universal.

Es un error, sin embargo, creer no sólo que la meta de la Ciencia en general es lograr *enunciados de leyes* similares a los que son comunes en la Física, sino también sostener que hay disciplinas que *no* intentan obtener *leyes objetivas universales*. Desde el momento que la suposición de la existencia de éstas es básica para la actividad científica, y su inexistencia es imposible de verificar (cf. Popper, 1962, p. 192), por complejos, extensos y aparentemente únicos que sean los fenómenos que se estudian, este último propósito siempre existe, aunque en muchos casos conduzca a enunciados de leyes originados en otras disciplinas.

Ello no significa que, sobre la base de la mayor o menor proximidad a este objetivo, se puedan establecer grados en el desarrollo o carácter científico de las mismas, pues los puntos de partida no son comparables.

Por ello no es de extrañar que la Geología sea una disciplina con pocos enunciados de leyes —lo cual no implica que haya pocas leyes—, pues éstos en definitiva —según el alcance que usualmente se les atribuye— no pueden dar cuenta de los hechos complejos que trata aquella. Ya se ha visto, sin embargo, que los "enunciados legaliformes" solo constituyen una aproximación a las "leyes objetivas", y que, en consecuencia, existe toda una gama, desde aquellos que se aproximan al ideal de la universalidad hasta las simples generalizaciones de carácter probabilístico.

En este contexto es importante destacar que si bien la Física clásica —o newtoniana— se caracterizó por enunciados casi universales, desde el desarrollo de la mecánica cuántica, y el aumento en la complejidad de los problemas en estudio, se ha producido un incremento paralelo de enunciados de tipo probabilístico. Lo cual sólo indica que no es posible obtener "leyes" más sencillas (cf. Popper, 1962, p. 193).

Estos últimos enunciados, como generalizaciones empíricas, constituyen el tipo más común en la Geología y la Biología. De allí que Bucher (1936) haya considerado que lo principal del trabajo geológico consiste en efectuar generalizaciones para obtener "leyes empíricas" cuya comprensión se debería buscar en otros niveles de complejidad. Un concepto similar ha sido expuesto por Kitts (1963b; ver también 1974), para quien estas generalizaciones serían comparables a las leyes de la Física y la Química, aunque en

muchos casos "han sido formuladas... en función de generalizaciones de alto nivel empleando las leyes de la Física y la Química" (p. 62). Por ello la Física y la Química tendrían como fin hallar leyes, y la Geología usaría de éstas como un medio para construir crónicas de eventos específicos.

Esta es una concepción errónea, pues desde un punto de vista explicativo las hipótesis, leyes y teorías son un medio para *todas* las disciplinas científicas. El hecho de que la Física, en contraste con otras ramas de la ciencia, históricamente haya tenido una mayor facilidad para expresarse legal— y matemáticamente, y que continúe haciéndolo, no significa que ese sea su objetivo.

Por ello quizás sea apropiado reconocer con Popper (1972, p. 43, 130) que en la ciencia lo que se pretende es dar explicaciones satisfactorias de la realidad. Considerando satisfactorias aquellas explicaciones que hacen uso, junto con condiciones iniciales, de conjeturas teóricas contrastables.

Directamente relacionada con lo expuesto más arriba se halla la posibilidad de que tanto la Geología como todas las disciplinas, sean en última instancia reducibles, en sus términos y leyes, a la Física y la Química. Ésto es, que las explicaciones puedan buscarse mayormente —o únicamente— en niveles menos complejos, y que las teorías y leyes de un campo de la ciencia puedan considerarse casos especiales de los formulados en otros.

Si bien en algunos casos, como el de la Biología, pareciera que ello no es momentáneamente posible, tal posibilidad es, como se verá, de una significación relativa (Popper, 1962; Hempel, 1966; Anderson, 1972; Hull, 1974).

En general las ramas de la ciencia que tratan de hechos más complejos, e intentan resolver los problemas que éstos presentan, sólo pueden descomponerlos en partes con menos variables mientras ello no signifique abandonar el objetivo explicativo que tiene significación para los niveles que le son propios. Pues hablar de configuraciones geológicas en términos de los elementos más simples que las componen y de las leyes que dan cuenta de las regularidades de éstos, es hablar de Física y no de Geología (cf. Watson, 1969, p. 489). Es por ello que, aunque a veces, como en cualquier otra disciplina, se presentan fenómenos que solo pueden ser resueltos en un nivel de análisis diferente, en general para hablar de hechos y regularidades de significación en Geología es necesario

usar términos geológicos, e hipótesis (leyes y/o teorías) que hagan uso de éstos (Watson, 1969; Hull, 1974, p. 133-134).

De esta manera una disciplina científica de cierta complejidad comprende necesariamente hipótesis, leyes y conocimiento en general, correspondientes a diferentes campos de la ciencia, además del propio (cf. van Bemmelen, 1960, p. 458; Hagner, 1963, p. 240; Bunge, 1959, p. 271; 1969, p. 654). Por ello las leyes físicas y químicas son propiedad de toda la ciencia (cf. Cloud, 1970b, p. 41).

De esta manera, aceptar con Kints (1974) que las hipótesis (y teorías) geológicas deben ser coherentes con el resto del conocimiento científico no significa sostener su reducción o subordinación a la Física y la Química, sino reconocer la unidad de la ciencia. Pese a ello, y contrariamente a lo sostenido por Kints (op. cit.), los hechos históricos pueden falsar hipótesis (leyes y/o teorías) geológicas sin que ello signifique la falsación de aquellas leyes físicas y químicas con las que éstas son compatibles.

Las diferentes hipótesis y/o leyes, referidas a un mismo tema factual se integran usualmente en teorías, las que constituyen, en consecuencia, el producto más sofisticado de la actividad científica. En ellas hasta las generalizaciones empíricas adquieren carácter legaliforme (cf. Hempel, 1966, p. 58; Harré, 1970, p. 132; Hull, 1974, p. 71).

Las teorías ofrecen una versión sistemáticamente unificada de fenómenos completamente diversos, muestran que las leyes empíricas que tratan de explicar no se cumplen de una manera estricta y sin excepciones, sino en forma aproximada y dentro de un cierto ámbito limitado de aplicación, y permiten predecir y explicar fenómenos que no se conocían cuando fueron formuladas (Hempel, 1966, p. 70, 76).

Es factible entonces que la madurez de una determinada rama de la ciencia deba buscarse en la existencia de una teoría unificadora, con gran poder explicativo, que sea aceptada como paradigma de su actividad por la mayor parte de los miembros de una comunidad académica (cf. Ziman, 1968; Kuhn, 1970), y que sea susceptible de remplazo por otras con un nivel mayor de universalidad. Así el avance del conocimiento haría cada vez más borrosas las líneas divisorias entre las diferentes disciplinas.

Con relación a lo expuesto es obvio que los geólogos, no sólo han desarrollado en los últimos años una teoría de tales caracterís-

ticas, sino que desde Hutton y Lyell —esto es en los años inmediatamente posteriores a la publicación de los *Principia* de Newton, producida en 1687, hecho que marca el nacimiento de la ciencia moderna— han aceptado como propiedad común un *corpus* teórico complejo. En él juegan un papel importante, hipótesis, generalizaciones y leyes, propias y de otros niveles, que dan explicación, al parecer válida, de la historia y evolución del planeta y de los procesos que han actuado y actúan en el mismo (cf. Kuhn, 1970, p. 15). Por otra parte, la validez y universalidad de la teoría geológica depende de su capacidad de explicar, no sólo los fenómenos exclusivamente terrestres, sino también aquellos que trascienden los límites del planeta. Y el estudio de la Luna es, en tal sentido, una prueba que está siendo superada con éxito.

Resta señalar que tal vez la unidad de la Ciencia no se basa en una utópica reducción, sino en las uniformidades estructurales de los diferentes niveles de la realidad, i.e. en la existencia de conceptos, modelos y leyes similares en campos completamente diferentes (cf. Bertalanffy, 1968, 1972). Por eso quizás no sea del todo importante determinar, si la Física, o, como lo afirmó Simpson (1964, p. 107) la Biología, es la disciplina central de la Ciencia, y si la unidad de ésta debe buscarse a través de principios aplicables a todos los fenómenos, o a través de fenómenos a los cuales todos los principios son aplicables (cf. Simpson, op. cit.; Hull, 1974, p. 132). De cualquier manera, aún si fuese posible una teoría unificada de la realidad, la misma probablemente no se asemejaría a la de la Física contemporánea (Hull, 1974, p. 131).

IV. Principios

Es notorio, sin embargo, que la ausencia en la Geología de enunciados legaliformes comparables a aquellos de la Física y la Química, ha llevado a buscar otras denominaciones para las fórmulas generales que se suponen propias de ella. Así es común encontrar en los libros de texto la enunciación de *Principios*.

En general no es claro el alcance conceptual que se ha pretendido dar a este término, y ello se pone en evidencia al comprobar que bajo el mismo parecen haberse introducido enunciados correspondientes a categorías di-

ferentes, que incluyen desde métodos de trabajo hasta axiomas generales de la ciencia.

Los principios más comúnmente citados suelen ser el del *uniformismo*, y el de *superposición*, y, a veces, el de *correlación* (cf. Weller, 1960, p. 29), aunque se han mencionado muchos otros (cf. Borrello, 1961; Cloud, 1970b).

Aparentemente la mayor parte de ellos, i.e. incompleta secuencia, geografías sucesivas, evolución geológica, continuidad física y biológica, universalidad, relación bidimensional, constituyen diferentes enunciados, o enunciados parciales, de una misma teoría, e.g. de la evolución y de los geosinclinales, o pueden ser reducidos al principio del *uniformismo*.

El principio de correlación estratigráfica es, en cambio, aceptado como "ley geológica" (cf. Dunbar y Rodgers, 1957, p. 110; Bunge, 1969a, p. 358), aunque Simpson (1970a, p. 44) señala que implica una inferencia basada en los principios de uniformidad y simplicidad, y según Watson (1966, p. 181) es la expresión de leyes físicas en términos geológicos.

Evidentemente este tema necesita de un estudio detallado que esta fuera del propósito del presente trabajo. No obstante esto, resulta apropiado hacer unas breves consideraciones sobre el *principio del uniformismo* debido a que el mismo, en los últimos años, ha sido objeto de discusión, no sólo en el extranjero (Simpson, 1963b, 1970a; Gould, 1965, 1967; Hooykaas, 1970), sino también en nuestro país (Harrington, 1973).

Uniformismo (= Uniformitarianismo = Uniformitarismo)

La importancia asignada al Principio del Uniformismo en la Geología se refleja en afirmaciones como la de Longwell y Flint (1955, p. 385; cf. Kitts, 1963b, p. 62), según la cual éste "es la piedra angular de la filosofía geológica" y "posiblemente la contribución más grande que han hecho los geólogos al conocimiento científico", y en el hecho de que así parece haber sido aceptado en otras disciplinas (cf. Stebbins, 1974, p. 13).

No obstante lo expuesto, y tal como Simpson (1970a, p. 45) lo ha señalado, las opiniones al respecto parecen ser contradictorias, ya que también hay quien lo considera un principio general de la ciencia.

El problema se origina en el hecho de que este principio incluía —en las primeras oportunidades en que fue expuesto— una serie de conceptos que nunca fueron claramente dife-

renciados por Hutton. De esta manera la discusión que se originó, y que en muchos casos ha perdurado hasta la actualidad, más que debida a diferencias de opinión sobre su validez o universalidad, se debió a las diversas interpretaciones que los distintos autores daban del mismo (cf. Simpson, 1963b; Gould 1965; Albritton, 1967b; Hooykaas, 1970; Harrington, 1973).

En primer lugar, como Simpson (1970a) lo ha destacado, se debe diferenciar el concepto de *Actualismo*, aplicable a la Geología, del principio general de la ciencia que reconoce que el Universo, en lo que respecta a sus propiedades immanentes, es un sistema único y consistente en todo momento.

Este último no es en realidad más que una expresión generalizada del principio de legalidad, y hace referencia al ordenamiento objetivo del Universo, independientemente del conocimiento que el hombre posee de éste. Es un principio ontológico propuesto y confirmado por la investigación científica (Bunge, 1969a, p. 410), o una hipótesis metafísica (Popper, 1972), y admite tanto la permanencia como la modificación, a través del tiempo, de las propiedades immanentes del Universo, independientemente de lo que expresan los enunciados de ley y/o teorías, como manifestación del conocimiento del hombre en un momento determinado. En definitiva es la versión metafísica de una regla metodológica que establece que no debe abandonarse la búsqueda de leyes universales y de un sistema teórico coherente, y parece ser más útil que cualquier metafísica indeterminista de la índole definida por Heisenberg (Popper, 1962, p. 230-231). Ello no implica negar que el mundo está también regido por leyes de probabilidad estadística (Popper, 1972, p. 199), pues la respuesta al dilema Azar-Determinismo no parece encontrarse en ninguno de los extremos (cf. Popper, op. cit., p. 210; una discusión sobre este tema en relación con la Geología se encuentra en Krauskopf, 1968; Mann, 1970a, b, c; Simpson, 1970b; Smalley, 1970).

Este principio admite no sólo la posibilidad de regularidades que varíen con el tiempo, sino también la existencia de otras cuyos efectos no han sido detectados por la especie humana.

Uniformidad en el espacio y el tiempo se atribuye en cambio a los enunciados de leyes establecidos por ésta, lo que ha llevado a decir que "the uniformity required is not in nature's activities but in our account of them"

(Goodman, 1967, p. 94). A un concepto tal, que implica que las propiedades immanentes del Universo no han cambiado, es aplicable la denominación de *Actualismo*. Nótese que los enunciados de leyes son una expresión de las limitaciones humanas y, en consecuencia, se modifican y reemplazan con el avance del conocimiento. Pese a ello en su momento parecen ser aplicables sin consideración de tiempo y lugar, y se les atribuye la permanencia y universalidad que se supone tienen las leyes objetivas que se tratan de obtener. Aunque la validez del Actualismo no puede probarse, su fundamentación está dada esencialmente por la geo-, bio- y astro-historia de los últimos 3.5 Ga, razón por la cual se lo ha considerado un principio histórico (cf. Simpson, 1970a, p. 63). No obstante esto, también tiene vigencia en el campo de las disciplinas donde el tiempo, si bien no tiene en general la misma importancia que en la Geología y la Paleontología o la Astronomía, está comprendido en teorías como la de la Relatividad.

Así el *Actualismo* es un principio general de la ciencia fáctica que halla su fundamentación en los aspectos históricos de algunas de las disciplinas científicas.

El mismo no es contradecido por la variación de ciertos procesos o su posible ausencia en determinadas épocas (cf. Harrington, 1973). Esto se debe a que la continuidad y uniformidad espacio-temporal atribuida a las propiedades de la materia y a los enunciados de leyes, no implica la de los diferentes procesos y configuraciones del Universo. Por el contrario, la uniformidad de las condiciones materiales y de las intensidades y velocidades de los procesos en la historia de la Tierra —o *Uniformismo Sustantivo* (cf. Gould, 1965)— no puede ser sostenida a la luz de las evidencias geológicas. Pues no sólo han existido procesos que hoy día no actúan, sino que existen otros cuya historia es muy breve. Además los que siempre han existido se han caracterizado por sus variaciones en intensidad, sin que existan evidencias de progresiones regulares —disminución o incremento— de muchas de ellas. Por ello en diferentes momentos y lugares, en la historia física del planeta, han existido cambios graduales y/o catastróficos, con toda la gama intermedia (cf. Simpson, 1970a; Hooykaas, 1970; Hendrix, 1975). Cabe acotar que esta aparente ausencia de una variación secular definida no se opone a la existencia de un proceso irreversible hacia un incremento en entropía tal como es

expresado en la 2ª ley de la termodinámica (cf. Hubbert, 1967).

Es interesante destacar que el Uniformismo Sustantivo, en cualquiera de sus manifestaciones, puede no sólo conducir a errores interpretativos, sino a retardar el progreso del conocimiento. A ello se debe problemamente que la hipótesis de la Deriva Continental no haya sido investigada con mayor detalle cuando fue propuesta por primera vez (Marvin, 1973, p. 38).

Según Simpson (1970a, p. 90) el *Actualismo* es esencial para efectuar inferencias históricas debido a que la interpretación del pasado involucra la confrontación del registro geológico con los procesos y circunstancias actuales.

Si bien es cierto que hay elementos que pueden ser comparados, en un grado que parece estar en relación inversa con su complejidad y edad geológica, con sus similares actuales, y que tal analogía es uno de los métodos que permite efectuar reconstrucciones históricas, también es verdad que el mismo es aplicable con ciertas limitaciones, pues en el intrincado sistema de la naturaleza productos similares pueden ser el resultado de causas diferentes y productos diferentes pueden deberse a causas semejantes (cf. Lahee, 1909, p. 562-3).

Además este método no es el único que se utiliza en la reconstrucción del pasado. De no ser así sería imposible dar explicaciones en aquellos casos en los que no existen contrapartes actuales. Tal situación suele ser común en Paleontología donde a veces se debe recurrir a modelos teóricos —paradigmas— para establecer la ecología de cierto organismo, o la función de determinado órgano, desconocidos en la actualidad (cf. Rudwick, 1964).

Por otra parte, cuando se plantea que, ya sea un modelo teórico o una relación actual entre causa y efecto, son válidos para el pasado, se está proponiendo una hipótesis a la luz de la cual se trata de explicar un hecho particular. Y ello en definitiva no difiere del método hipotético-deductivo del que hace uso toda la ciencia.

Agradecimientos

El presente trabajo, total o parcialmente, ha sido leído críticamente por: J. Bosch, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata; M. Bunge, Instituto de Investigaciones Filosóficas, Universidad Nacional Autónoma de México; J. Crisci, Museo de Ciencias Naturales, La Plata; O. Mastromauro, Departamento de Filosofía, Universidad Nacional de La Plata; E. Musacchio, Museo de Ciencias Naturales, La Plata; J. Roetti, Consejo Nacional de Investigaciones, Argentina; G. G. Simpson, The Simroe Foundation y University of Arizona, E.E.U.U.; R. Vicencio, Department of Geology, Acadia University, Canada; R. C. Whatley, Department of Geology, University College of Wales, Reino Unido.

Los nombrados, a quienes se agradece la valiosa colaboración prestada, no necesariamente comparten las ideas expuestas. Estas, así como los errores que puedan encontrarse, son responsabilidad exclusiva del autor.

La conclusión de este análisis fue posible merced a una beca de la Fundación Guggenheim.

El autor es miembro de la Carrera del Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina.

Lista de trabajos citados en el texto

- Albritton C. C., ed., 1963a. *The Fabric of Geology*. Freeman, Cooper and Co., Stanford. (traducción al castellano: Cia. Edit. Continental, México, 1970).
- 1963b. Preface. In Albritton C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. v-vii.
- ed., 1967a. Uniformity and Simplicity, A Symposium on the Principle of the Uniformity of Nature. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 89: 1-99.
- 1967b. Uniformity, the Ambiguous Principle. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 89: 1-2.
- ed., 1975. *Philosophy of Geohistory: 1785-1970*. Benchmark Papers in Geology, v. 13. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Pennsylvania.
- Anderson P. W., 1972. More is different. *Science (AAAS)* 177: 393-396.
- Bemmelen R. W. van, 1960. The Scientific Character of Geology. *J. Geol.* 69: 453-463.
- Bertalanffy L. v., 1968. *General System Theory, Foundations, Development, Applications*. George Braziller New York.
- 1972. The History and Status of General Systems Theory. In Klir G. J., ed., *Trends in General Systems Theory*, pp. 21-41. Wiley-Interscience, New York.

- Borrello A. V., 1961. Los Principios Fundamentales de la Geología Histórica. *Rev. Univ. Nac. La Plata* 15: 59-75.
- Bradley W. H., 1963. Geologic Laws. In Albritton C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. 12-23.
- Braithwaite R. B., 1968. *Scientific Explanation*. Cambridge University Press.
- Bucher W. H., 1933. *The Deformation of the Earth's Crust*. Princeton Univ. Press.
- 1936. The Concept of Natural Law in Geology. *Ohio J. Sci.* 36: 183-194.
- Bunge M., 1959. *Causality*. The World Publishing Co., New York.
- 1960. Kinds and Criteria of Scientific Laws. *Phil. Sci.* 28: 260-281.
- 1969a. *La Investigación Científica*. Ediciones Ariel, Barcelona.
- 1969b. The Metaphysics, Epistemology and Methodology of Levels. In Whyte L. L. et al., eds., *Hierarchical Structures*. pp. 16-28. American Elsevier Publ. Co., Inc., New York.
- 1971. *La Ciencia, su Método y su Filosofía*. Ediciones Siglo Veinte, Buenos Aires.
- Chamberlin T. C., 1890. The Method of Multiple Working Hypothesis. *Science (AAAS)* (1) XV: 92-96 (reimpreso en: 1897, *J. Geol.* 5: 837-848; 1965, *Science (AAAS)* 148: 754-759; 1975, Albritton C. C., ed., pp. 126-131).
- Cloud P., ed., 1970a. *Adventures in Earth History*. W. H. Freeman & Co., San Francisco.
- 1970b. Ordering Principles in Earth History, Introduction. In Cloud P., ed., *Adventures in Earth History*, pp. 3-12.
- Crane D., 1972. *Invisible Colleges. Diffusion of Knowledge in Scientific Communities*. Univ. Chicago Press, Chicago.
- Darwin F. y Seward A. C., eds., 1903. *More Letters of Charles Darwin*. Vol. 1. D. Appleton and Co., New York.
- Davis W. M., 1926. The Value of Outrageous Geological Hypotheses. *Science (AAAS)* 63: 463-468 (reimpreso en Albritton C. C., ed., 1975, *Philosophy of Geohistory: 1785-1970*, pp. 147-152).
- Dunbar C. O. y Rodgers J., 1957. *Principles of Stratigraphy*, J. Wiley & Sons, Inc., New York.
- Gilbert G. K., 1886. The Inculcation of Scientific Method by Example. *Am. J. Sci.* (3) 31: 284-299 (reimpreso en Cloud P., ed., 1970, *Adventures in Earth History*, pp. 24-32).
- 1896. The Origin of Hypotheses, illustrated by the Discussion of a Topographic Problem. *Science (AAAS)* 3: 1-13 (reimpreso en Albritton C. C., ed., 1975, *Philosophy of Geohistory 1785-1970*, pp. 132-146).
- Gilluly J., 1963. The Scientific Philosophy of G. K. Gilbert. In Albritton C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. 218-224.
- Goodman N. 1967. Uniformity and Simplicity. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 89: 93-99.
- Gould S. J., 1965. Is Uniformitarianism Necessary? *Am. J. Sci.* 263: 223-228.
- 1967. Is Uniformitarianism Useful? *J. Geol. Educ.* 15: 149-50 (reimpreso en Cloud P., ed., 1970, *Adventures in Earth History*, pp. 51-53).
- Hagner, A. F. 1963. Philosophical Aspects of the Geological Sciences. In Albritton, C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. 233-241.
- Hallam, A., 1973. *A Revolution in the Earth Sciences, From Continental Drift to Plate Tectonics*. Clarendon Press, Oxford.
- Harré, R., 1970. *The Principles of Scientific Thinking*. Univ. Chicago Press.
- Harrington, H. J., 1973. Actualismo y Uniformitarianismo. *Rev. Asoc. Geol. Arg.* 28: 304-308.
- Hempel, C. G., 1966. *Philosophy of Natural Science*. Prentice-Hall, Inc., N. Jersey.
- Hendrix, T. E., 1975. Thresholds and Uniformity of Natural Systems. *J. Geol. Educ.* 23: 60-63.
- Hooykaas, R., 1970. Catastrophism in Geology, Its Scientific Character in Relation to Actualism and Uniformitarianism. *Ned. Akad. Wetensch., Afd. Letterkd., Meded.*, (n.r.) 33: 271-316 (reimpreso en Albritton, C. C., ed., 1975, *Philosophy of Geohistory: 1785-1970*, pp. 311-356).
- Hubbert, M. K., 1967. Critique of the Principle of Uniformity. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 89: 3-33 (reimpreso en Cloud, P., ed., 1970, *Adventures in Earth History*, pp. 33-50).
- Hull, D., 1974. *Philosophy of Biological Science*. Prentice-Hall, Inc., N. Jersey.
- Johnson, D., 1933. Role of Analysis in Scientific Investigation. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 44: 46-493 (reimpreso en Albritton, C. C., ed., 1975, *Philosophy of Geohistory: 1785-1970*, pp. 153-185).
- Kahle, C. F., 1974. Introduction. In Kahle, C. F. ed., *Plate Tectonics: Assessments and Reassessments*. *Amer. Assoc. Pet. Geol. Mem.* 23: 1-4.
- Kitts, D. B., 1963a. Historical Explanation in Geology. *J. Geol.* 71: 297-313.
- 1963b. The Theory of Geology. In Albritton, C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. 49-68.
- 1974. Physical Theory and Geological Knowledge. *J. Geol.* 82: 1-23.
- Krauskopf, K. B., 1968. A Tale of Ten Plutons. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 79: 1-17 (reimpreso en Cloud, P., ed., 1970, *Adventures in Earth History*, pp. 54-70).
- Kuhn, T. S., 1970. *The Structure of Scientific Revolutions*. Univ. Chicago Press. 2ª ed. (traducción al castellano: Fondo de Cultura Económica, México, 1972).
- Lahee, F. H., 1909. Theory and Hypothesis in Geology. *Science (AAAS)* 30: 562-563.

- Langrish, J., 1974. The Changing Relationship between Science and Technology. *Nature* 250: 614-616.
- Longwell, C. R. y Flint, R. F., 1955. *Introduction to Physical Geology*. J. Wiley & Sons, Inc., New York.
- Lyell, C., 1832. *Principles of Geology*. Vol. 1. J. Murray, London, 2ª ed.
- Mackin, J. H., 1963. Rational and Empirical Methods of Investigation in Geology. In Albritton, C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. 135-163.
- Mann, C. J., 1970a. Randomness in Nature. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 81: 95-104.
- 1970b. On Randomness and Determinism: Reply. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 81: 3187-3190.
- 1970c. Randomness in Nature: Reply. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 81: 3195-3196.
- Marvin, U. B., 1973. *Continental Drift, the Evolution of a Concept*. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Mayr, E., 1961. Cause and Effect in Biology. *Science (AAAS)* 134: 1501-1506.
- 1972. The Nature of the Darwinian Revolution. *Science (AAAS)* 176: 981-989.
- McIntyre, D. B., 1963. James Hutton and the Philosophy of Geology. In Albritton, C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. 1-11.
- McKelvey, V. E., 1963. Geology as the Study of Complex Natural Experiments. In Albritton, C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. 69-74.
- Medawar, P. B., 1969. *Induction and Intuition in Scientific Thought*. Methuen & Co. Ltd., London.
- Nagel, E., 1968. *La Estructura de la Ciencia*. Ed. Paidós, Buenos Aires.
- Platt, J. R., 1964. Strong Inference. *Science (AAAS)* 146: 347-353.
- Popper, K. R., 1962. *La Lógica de la Investigación Científica*. Editorial Tecnos, Madrid.
- 1966. *The Open Society and Its Enemies*, Vol. 1 & 2. Princeton Univ. Press, N. Jersey, 5ª ed.
- 1972. *Conocimiento Objetivo* (edición en castellano: Editorial Tecnos, Madrid, 1974).
- Press, F., 1975. Earthquake Prediction. *Sci. Am.* 232 (5): 14-23.
- Richter, C. P., 1953. Free Research versus Design Research. *Science (AAAS)* 118: 91-93.
- Rudwick, M. J. S., 1964. The inference of function from structure in fossils. *Br. J. Phil. Sci.* 15: 27-40.
- Schumacher, E. F., 1974. *Small is Beautiful*. Sphere Books Ltd., London.
- Scriven, M., 1959. Explanation and Prediction in Evolutionary Theory. *Science (AAAS)* 130: 477-482.
- Siever, R., 1968. Science: Observational, Experimental, Historical. *Am. Sci.* 56: 70-77.
- Simpson, G. G., 1963a. Biology and the Nature of Science. *Science (AAAS)* 139: 81-88 (The Lapham Hall Dedication Lectures, Univ. Wisconsin-Milwaukee).
- 1963b. Historical Science. In Albritton, C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. 24-48.
- 1964. *This View of Life*. Harcourt, Brace & World, Inc., New York.
- 1970a. Uniformitarianism. An Inquiry into Principle, Theory and Method in Geohistory and Biohistory. In Hetch, M. K. y Steere, W. C., eds., *Essays in Evolution and Genetics in Honor of T. Dobzhansky*, pp. 43-96 (reimpreso en Albritton, C. C., ed., 1975, *Philosophy of Geohistory: 1785-1970*, pp. 256-309).
- 1970b. On Randomness and Determinism: Discussion. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 81: 3185-3186.
- Smalley, I. J., 1970. Randomness in Nature: Discussion. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 81: 3191-3194.
- Smart, J. J. C., 1968. *Between Science and Philosophy*. Random House, Inc. New York.
- Stebbins, G. L., 1974. *Flowering Plants. Evolution above the species level*. Harvard Univ. Press, Cambridge.
- Stent, G. S., 1972. Prematurity and Uniqueness in Scientific Discovery. *Sci. Am.* 227 (6): 84-93.
- Toulmin, S. E., 1967. The Evolutionary Development of Natural Science. *Am. Sci.* 55: 456-471.
- Valentine, J. W., 1975. Presidential Address: Method and Style in Paleontology. *J. Paleont.* 49: 439-444.
- Watson, J. D., 1968. *The Double Helix; A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA*. Atheneum, New York.
- Watson, R. A., 1966. Is Geology Different: A Critical Discussion of the "Fabric of Geology". *Phil. Sci.* 33: 172-185.
- 1969. Explanation and Prediction in Geology. *J. Geol.* 77: 488-494.
- Weinberg, G. M., 1972. A Computer Approach to General Systems Theory. In Klir, G. J., ed., *Trends in General Systems Theory*, pp. 98-141. Wiley-Interscience, New York.
- Weller, J. M., 1960. *Stratigraphic Principles and Practice*. Harper, New York.
- Whewell, W., 1847. *The Philosophy of the Inductive Sciences*. Johnson Reprint Corporation, 1967 (reimpresión 2ª ed.).
- 1857. *History of the Inductive Sciences*. Vol. I-III. J. W. Parker & Son, London, 3ª ed.
- Young, J. Z., 1951. *Doubt and Certainty in Science*. Clarendon, Oxford.
- Ziman, J., 1968. *Public Knowledge, An Essay concerning the Social Dimensions of Science*. Cambridge Univ. Press.

Recibido: marzo 3, 1976.